chinaXiv:201812.00681v1

1 饥饿及恢复饲喂对牦牛生长性能、营养物质表观消化率和血清指标的影响

2 曾少玉[1] 王之盛[1*] 彭全辉[1] 薛 白[1] 王立志[1] 邹华围[1] 胡 瑞[1] 祝伊枭[1] 周芯宇

3 [1] 刘建忠[2]

4 （1.四川农业大学动物营养研究所，四川省牛低碳养殖与安全生产高校重点实验室，

5 雅安 625014；2.路德生物环保技术（古蔺）有限公司，泸州 646509）

6 摘 要：本试验旨在研究牦牛在正常饲喂、饥饿和恢复饲喂条件下，生长及消化代谢变化情

7 况。选用平均体重为（183.60±15.62） kg 的 3 周岁健康牦牛 6 头作为试验动物。将试验分

8 为正常饲喂期（7 d）、饥饿期（断食 7 d），以及恢复饲喂期（28 d）。结果表明：1）饥饿 7 d

9 后牦牛失重约 10.06%，恢复饲喂期前 3 周牦牛的干物质采食量、料重比显著低于正常饲喂

10 期（$P<0.05$），恢复饲喂期前 2 周牦牛的平均日增重较正常饲喂期显著提高（$P<0.05$）。恢复

11 饲喂期第 1 周，牦牛粗蛋白质、粗脂肪表观消化率较正常饲喂期显著提高（$P<0.05$）；恢复

12 饲喂期第 4 周，牦牛干物质采食量、料重比、平均日增重及粗脂肪表观消化率与正常饲喂期

13 无显著差异（$P>0.05$）。2）饥饿期牦牛血清葡萄糖、甘油三酯、尿素氮和肌酸酐含量较正常

14 饲喂期显著降低（$P<0.05$），血清非酯化脂肪酸含量较正常饲喂期显著升高（$P<0.05$）。在恢

15 复饲喂期，第 1 周和第 3 周牦牛血清葡萄糖含量较正常饲喂期显著提高（$P<0.05$），第 1 周

16 和第 2 周牦牛血清非酯化脂肪酸和总蛋白含量较正常饲喂期显著升高（$P<0.05$），第 2 周和

17 第 3 周牦牛血清甘油三酯含量较正常饲喂期显著降低（$P<0.05$），第 4 周牦牛血清各代谢物

18 含量与正常饲喂期无显著差异（$P>0.05$）。3）饥饿期牦牛血清胰岛素、生长激素及胰岛素样

19 生长因子 I 含量较正常饲喂期显著降低（$P<0.05$）。在恢复饲喂期，第 2 周牦牛血清胰岛素

20 含量较正常饲喂期显著提高（$P<0.05$），第 1 周、第 2 周和第 3 周牦牛血清胰岛素样生长因

收稿日期：2018-05-14
基金项目：国家自然科学基金（31772630）；国家肉牛牦牛产业技术体系（CARS-37）
作者简介：曾少玉（1992—），男，湖北十堰人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： 652044206@qq.com
*通信作者：王之盛，教授，博士生导师，E-mail: wangzs67@163.com

21 子Ⅰ含量较正常饲喂期显著升高（$P<0.05$），第 4 周牦牛血清生长激素与胰岛素样生长因子
22 Ⅰ含量与正常饲喂期差异不显著（$P>0.05$）。由此可见，饥饿期牦牛通过降低糖和蛋白质代
23 谢水平，提高脂肪分解来适应饥饿。而恢复饲喂期前 3 周是牦牛补偿生长的重要时期。
24 关键词：牦牛；饥饿；恢复饲喂；生长性能；营养物质表观消化率；血清指标
25 中图分类号：S823.8+5 文献标识码：A 文章编号：
26 牦牛作为青藏高原地区的当家畜种，是当地人民赖以生存的生产和生活资料，为高原地
27 区的经济发展做出了巨大贡献[1-2]。然而，牦牛的饲养方式还基本为传统的放牧饲养模式，
28 这使得牦牛饲料来源和营养供给完全依赖于牧草的周期性枯荣变化。由于青藏高原独特的地
29 理环境条件，在漫长的冷季容易出现大雪封冻的极端气候，冷季缺料使牦牛易于面临饥饿甚
30 至断食的生存状态，“夏活、秋肥、冬瘦、春死”是青藏高原牦牛放牧饲养受自然条件约束
31 的恶性循环现象。在经历 1 个冷季枯草期后，牦牛体重损失高达 30%[2]。因此，饥饿是牦牛
32 放牧养殖中的关键问题。饥饿是指动物在营养物质消化代谢后，能够并且想要进食，但是由
33 于外界食物资源的限制，导致其无法进行采食的一种生物学状态[3]。饥饿状态下，动物为了
34 满足机体代谢而利用葡萄糖，从而导致血糖水平降低[4]。为了维持血糖水平稳定，机体主要
35 利用肝糖原分解及糖异生来生成血糖，从而为机体提供能量[5]。随着饥饿时间的延长，动物
36 将最终耗尽体内存储的糖原[6]。随后，动物体将进行脂肪动员，体内的甘油三酯含量升高，
37 并通过β氧化供能。而蛋白质则是动物最后的能量储备，如果饥饿时间过长，将会对动物造
38 成严重损伤，甚至死亡[7-8]。研究发现，反刍动物经过营养限制后，恢复营养时会表现出一
39 段快速生长时期，被称为补偿生长[9]。冷季能量有限使牦牛饥饿成为常态，而补偿生长在牦
40 牛放牧系统中具有巨大的研究价值[10]。尽管已经有关于牦牛饥饿方面的研究[11-12]，但牦牛在
41 饥饿后恢复饲喂的相关资料还未见报道。本试验旨在比较牦牛正常饲喂期、饥饿期和恢复饲
42 喂期 3 个阶段中，生长性能、营养物质表观消化率、血清代谢产物及相关激素含量的变化，
43 阐明牦牛在饥饿期以及在恢复饲喂期间的适应情况，从而为提高牦牛面对恶劣环境的抗性研

chinaXiv:201812.00681v1

44 究积累数据并提供理论依据，为减少牦牛在冷季饥饿条件下体重损失，提高牦牛的生产性能

45 提供数据参考。

46 1 材料与方法

47 1.1 试验动物

48 选取 3 周岁健康、体重相近的 6 头九龙牦牛[平均初始体重（183.60±15.62） kg]作为

49 试验对象。

50 1.2 试验设计

51 参照 Belanche 等[13]的试验设计，将 6 头牦牛作为 1 个组。试验共 56 d，其中预试期 14

52 d，正试期 42 d。正试期又分为正常饲喂期（normal feeding period,NFP,7 d），饥饿期（starvation

53 period,SP,7 d）以及恢复饲喂期（refeeding period,RFP,28 d），饥饿期牦牛断绝饲料，参照本

54 课题组 Yu 等[11]以及任建林等[12]的研究对牦牛进行为期 7 d 的断食。

55 1.3 试验饲粮

56 在预试期、正常饲喂期和恢复饲喂期采用同一试验饲粮。试验饲粮配制借鉴我国《肉

57 牛饲养标准》（NY/T 815-2004）中体重 200 kg、日增重 0.8 kg/d 肉牛的营养需求，并参考本

58 课题组 Yu 等[11]和任建林等[12]的配方，采用白酒糟+稻草+精料补充料方式，按照精粗比 30:70

59 （干物质基础）进行混合后饲喂，其中精料补充料主要由玉米、麦麸、豆粕、菜籽粕、磷酸

60 氢钙、碳酸钙、食盐、预混料等组成，粗料为稻草和白酒糟，试验饲粮组成及营养水平见表

61 1。

62 表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

63 Table 1 Composition and nutrient levels of the experimental diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	17.40
小麦麸 Wheat bran	5.40

chinaXiv:201812.00681v1

豆粕 Soybean meal	2.40
菜籽粕 Rapeseed meal	3.00
白酒糟 White distiller’s grains	40.00
稻草 Rice straw	30.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.66
碳酸钙 $CaCO_3$	0.03
碳酸氢钠 $NaHCO_3$	0.36
食盐 NaCl	0.45
预混料 Premix[1)]	0.30
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
干物质 DM	90.73
综合净能 NE_{mf}/（MJ/kg）	5.10
粗蛋白质 CP	12.56
中性洗涤纤维 NDF	54.14
酸性洗涤纤维 ADF	41.05
钙 Ca	0.73
总磷 TP	0.40

64 [1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：Co （as
65 cobaltous chloride 6-hydrate） 0.12 mg, Cu（as copper sulfate） 11.67 mg，I （as calcium iodate）
66 0.58 mg，Fe （as ferrous sulfate） 58.33 mg，Mn （as manganese sulfate） 23.33 mg，Se （as
67 sodium selenite） 0.23 mg,Zn （as zinc sulfate） 35.00 mg，VA 3.00×10^4 IU,VD 1.20×10^4 IU，
68 VE 90.00 IU。

69 [2)] 综合净能为计算值[NE_{mf}=DE×K_{mf}；K_{mf}=K_m×K_f×1.5/（K_f+0.5×K_m）。式中：NE_{mf}
70 为综合净能；K_{mf}为消化能转化为净能的效率；DE 为饲粮的消化能；1.5 为饲养水平值；K_m
71 为消化能转化为维持净能的效率；Kf 为消化能转化为增重净能的效率。该计算方法参照我
72 国《肉牛饲养标准》（NY/T 815-2004）]，其余为实测值。NE_{mf} was calculated value [NE_{mf}=DE

chinaXiv:201812.00681v1

73 $\times K_{mf}$; $K_{mf}=K_m\times K_f\times 1.5/(K_f+0.5\times K_m$. In the formulas, K_{mf} was the conversion efficiency of DE

74 to NE; DE was digestible energy of the die;1.5 was the value of feeding level; K_m was the

75 conversion efficiency of DE to net energy for maintenance; K_f was the conversion efficiency of

76 DE to net energy for gain. The computing method of NE_{mf} reference to Chinese *Feeding Standard*

77 *of Beef Cattle* （NY/T 815-2004）], while the others were measured values.

78 1.4 饲养管理

79 试验在四川农业大学试验场进行，试验前对牦牛进行免疫、驱虫、消毒及编号等操作。

80 试验期间对圈舍进行定期消毒。采用单栏单槽栓系饲喂。正常饲喂期及恢复饲喂期，每天

81 09:00 以及 16:00 进行饲喂，试验牛自由采食，根据预试期确定的采食量投喂饲粮，保证每

82 次采食后槽内有 10%左右的剩料。整个试验期间所有牛只自由饮水。

83 1.5 样品采集

84 在正常饲喂期及恢复饲喂期每周的第 2～6 天采用全收粪法进行消化试验[14]。从试验期

85 第 1 天开始，每周第 1 天早上 09：00 前进行牦牛颈静脉采血，所采血液在阴凉处静置 30 min

86 以上，然后以 1 006.2×*g* 的离心力离心 15 min，取血清，快速冷冻后-20 ℃保存待测[15]。

87 1.6 测定指标和方法

88 1.6.1 牦牛生长性能及营养物质表观消化率

89 记录每天的实际采食量，并换算成干物质采食量（dry matter intake,DMI），每次采血后

90 对牦牛进行空腹称重，计算出每周的平均日增重（average daily gain,ADG），并计算出料重

91 比（feed/gain,F/G）。参照 AOAC(2002)[16]标准，测定饲粮及消化试验收集的粪便中水分、有

92 机物（organic matter,OM）、粗蛋白质（crude protein,CP）、粗脂肪（ether extract,EE）、酸性

93 洗涤纤维（acid detergent fiber,ADF）、钙（calcium, Ca）及磷（phosphorus,P）的含量。饲粮

94 及消化试验收集的粪便中粗纤维（crude fiber,CF）含量参照 GB/T 6434-2006 中方法测定，

95 中性洗涤纤维（neutral detergent fiber,NDF）含量参照 Van Soest 等[17]方法，采用 Foss 纤维仪

chinaXiv:201812.00681v1

96 （Fibertec 2010，丹麦）进行测定。营养物质表观消化率计算公式如下：

97 某营养物质表观消化率（%）=100×[食入的该营养物质的量（g）－粪中该营养物质

98 的量（g）]/食入的该营养物质的量（g）。

99 1.6.2 血清生化指标

100 血清中葡萄糖（glucose,GLU）[试剂盒编号 DRE-B1045c]、甘油三酯（trigluceride,TG）

101 （试剂盒编号 DRE-B6210c）、非酯化脂肪酸（non-esterified fatty acid,NEFA）（试剂盒编号

102 DRE-B0793c）、总蛋白（total protein,TP）（试剂盒编号 DRE-B6210c）、尿素氮（urea nitrogen,UN）

103 （试剂盒编号 DRE-B0544c）以及肌酸酐（creatinine,CRE）（试剂盒编号 DRE-B0781c）的含

104 量，应用酶联免疫吸附测定（ELISA）试剂盒[购于卡迈舒（上海）生物科技有限公司]采用

105 双抗体夹心法，使用酶标仪进行检测，具体操作步骤参考试剂盒所附说明。

106 1.6.3 血清激素指标

107 血清中胰岛素（insulin,INS）（试剂盒编号 DRE-B6410c）、胰高血糖素（glucagon,GC）

108 （试剂盒编号 DRE-B6449c）、生长激素（growth hormone,GH）（试剂盒编号 DRE-B6427c）、

109 胰岛素样生长因子Ⅰ（insulin-like growth factor-Ⅰ,IGF-Ⅰ）（试剂盒编号 DRE-B0732c）的含

110 量，应用 ELISA 试剂盒[购于卡迈舒（上海）生物科技有限公司]采用双抗体夹心法，使用酶

111 标仪进行检测，具体操作步骤参考试剂盒所附说明。

112 1.7 数据统计与分析

113 数据用 Excel 2010 软件进行整理，采用 SAS 8.1 软件的 Proc univariate 过程进行数据正

114 态性分布的检验，之后使用 Proc GLM 过程进行单因素方差分析，并采用 Duncan 氏法进行

115 多重比较，试验数据以“平均值±标准差”表示，$P<0.05$ 为差异显著。使用 Proc CORR 过

116 程进行指标相关性检验，$P<0.05$ 表示两者呈显著相关，相关系数的大小表明变量间相关性

117 的强弱。

118 2 结果与分析

chinaXiv:201812.00681v1

119 2.1 饥饿及恢复饲喂对牦牛生长性能的影响

120 由表 2 可知，牦牛在饥饿 7 d 后体重低于正常饲喂期，失重比例约达初始体重的 10.06%

121 （P>0.05）。恢复饲喂期前 3 周，DMI、F/G 显著低于正常饲喂期（P<0.05）；恢复饲喂期前

122 2 周 ADG 显著高于正常饲喂期（P<0.05）；恢复饲喂期第 4 周，DMI、F/G 以及 ADG 与正

123 常饲喂期差异不显著（P>0.05）。

124 表 2 饥饿及恢复饲喂对牦牛生长性能的影响

125 Table 2 Effects of starvation and refeeding on growth performance of yaks

项目 Items	正常饲喂期 NFP	饥饿期 SP	恢复饲喂期第 1 周 The 1st week of RFP	恢复饲喂期第 2 周 The 2nd week of RFP	恢复饲喂期第 3 周 The 3th week of RFP	恢复饲喂期第 4 周 The 4th week of RFP
初始体重 IBW/kg	190.17±16.09[ab]	193.83±16.96[ab]	174.33±14.62[b]	190.50±18.77[ab]	195.50±19.01[ab]	199.35±19.63[a]
终末体重 FBW/kg	193.83±16.96[ab]	174.33±14.62[b]	190.50±18.77[ab]	195.50±19.01[ab]	199.35±19.63[a]	203.67±20.11[a]
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.52±0.06[c]	-2.78±0.22[d]	2.40±0.26[a]	0.71±0.05[b]	0.57±0.04[bc]	0.51±0.05[c]
干物质采食量 DMI/(kg/d)	4.65±0.25[a]		3.55±0.35[c]	3.78±0.49[b]	3.84±0.35[b]	4.61±0.31[a]
料重比 F/G	8.98±1.21[a]		1.48±0.15[d]	5.31±0.71[c]	6.73±0.61[b]	9.12±1.13[a]

126 同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

127 In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05),

128 while with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

129 2.2 饥饿后恢复饲喂对牦牛营养物质表观消化率的影响

130 由表 3 可知，饥饿后恢复饲喂的牦牛，在第 1 周时，CP、EE、CF、ADF 以及 P 的表

131 观消化率显著高于正常饲喂期（P<0.05），Ca 的表观消化率则显著低于正常饲喂期（P<0.05）；

132 在第 2 周时，CP 和 P 的表观消化率较正常饲喂期显著升高（P<0.05）；在第 3 周时，Ca 的

133 表观消化率较正常饲喂期显著降低（P<0.05）；而在第 4 周时，除了 ADF 的表观消化率显著

chinaXiv:201812.00681v1

134 高于正常饲喂期（P<0.05）和 NDF 的表观消化率显著低于正常饲喂期（P<0.05）外，其余

135 营养物质表观消化率与正常饲喂期差异不显著（P>0.05）。DM 和 OM 在整个恢复饲喂期均

136 与正常饲喂期差异不显著（P>0.05）。

137 表 3 饥饿后恢复饲喂对牦牛营养物质表观消化率的影响

138 Table 3 Effects of starvation followed refeeding on nutrient apparent digestibility of yaks %

项目 Items	正常饲喂期 NFP	恢复饲喂期第 1 周 The 1st week of RFP	恢复饲喂期第 2 周 The 2th week of RFP	恢复饲喂期第 3 周 The 3th week of RFP	恢复饲喂期第 4 周 The 4th week of RFP
干物质 DM	77.65±1.08	77.13±1.64	77.35±1.37	77.7±1.17	77.46±1.47
有机物 OM	76.43±1.05	76.52±0.78	77.28±1.35	77.75±0.85	76.64±0.92
粗蛋白质 CP	71.97±1.66[b]	74.96±2.97[a]	74.97±1.79[a]	73.62±2.65[ab]	72.11±3.46[b]
粗脂肪 EE	90.36±1.26[b]	96.56±3.13[a]	94.12±4.67[ab]	94.87±3.77[ab]	91.35±2.14[b]
粗纤维 CF	36.85±5.77[b]	43.99±5.99[a]	39.77±7.00[ab]	39.85±4.76[ab]	38.7±6.09[b]
中性洗涤纤维 NDF	68.64±3.88[a]	67.66±3.57[a]	57.82±5.20[b]	58.12±4.73[b]	57.78±3.72[b]
酸性洗涤纤维 ADF	50.12±3.79[b]	56.44±2.97[a]	49.48±1.67[b]	51.34±2.95[b]	56.43±4.62[a]
钙 Ca	64.45±1.49[a]	58.46±1.67[b]	68.39±3.19[a]	59.07±1.86[b]	64.32±0.72[a]
磷 P	50.01±0.92[cd]	63.97±3.15[b]	74.86±1.07[a]	49.6±0.71[d]	52.01±0.62[c]

139 2.3 饥饿及恢复饲喂对牦牛血清生化指标的影响

140 2.3.1 血清代谢产物含量的变化

141 由表 4 可知，在饥饿期，血清 GLU、TG、UN 和 CRE 含量较正常饲喂期显著降低（P<0.05），

142 血清 NEFA 含量较正常饲喂期显著升高（P<0.05），血清 TP 含量则与正常饲喂期差异不显

143 著（P>0.05）。而到了恢复饲喂期，在前 2 周，血清 NEFA 和 TP 含量显著高于正常饲喂期

144 （P<0.05）；在第 1 周和第 3 周，血清 GLU 含量显著低于正常饲喂期（P<0.05）；在第 2 周

145 和第 3 周，血清 TG 含量显著低于正常饲喂期（P<0.05）；血清 UN 和 CRE 含量分别在第 2

146 周和第 3 周显著低于正常饲喂期（P<0.05）；到了第 4 周，上述所有指标与正常饲喂期均无

147 显著差异（P>0.05）。

148 表 4 饥饿及恢复饲喂对牦牛血清代谢产物含量的影响

chinaXiv:201812.00681v1

149　Table 4　Effects of starvation and refeeding on serum metabolites contents of yaks

项目 Items	正常饲喂期 NP	饥饿期 SP	恢复饲喂期第 1 周 The 1st week of RFP	恢复饲喂期第 2 周 The 2th week of RFP	恢复饲喂期第 3 周 The 3th week of RFP	恢复饲喂期第 4 周 The 4th week of RFP
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	8.61±0.12[a]	7.21±0.68[b]	7.42±1.23[b]	8.09±1.24[ab]	7.13±0.70[b]	7.81±0.71[ab]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	16.09±0.83[a]	13.89±1.61[b]	14.81±1.18[ab]	13.96±1.29[b]	13.80±0.77[b]	14.97±0.68[ab]
非酯化脂肪酸 NEFA/(nmol/L)	259.50±20.16[b]	315.81±24.88[a]	294.85±30.02[a]	304.26±27.42[a]	222.64±17.15[c]	267.32±20.84[b]
总蛋白 TP/(ng/mL)	533.24±24.23[b]	585.05±52.7[ab]	611.97±65.79[a]	627.10±48.09[a]	550.65±37.48[b]	566.54±61.02[ab]
尿素氮 UN/(pmol/L)	3 447.56±248.11[a]	2 886.44±322.95[b]	3 167.77±323.84[ab]	2 866.96±334.56[b]	3 154.11±316.8[ab]	3 113.58±381.26[ab]
肌酸酐 CRE/(μg/mL)	319.72±24.19[a]	284.91±29.95[b]	303.97±27.07[ab]	324.33±21.74[a]	284.89±44.24[b]	311.02±31.39[ab]

chinaXiv:201812.00681v1

150　2.3.2　血清激素含量的变化

151　　由表 5 和表 6 可知，在饥饿期，血清 INS、GH 和 IGF-Ⅰ含量及 INS/GC 较正常饲喂期
152　显著降低（P<0.05）。而到了恢复饲喂期，在前 3 周，血清 IGF-Ⅰ含量显著高于正常饲喂期
153　（P<0.05）；在第 2 周，血清 INS 含量显著高于正常饲喂期（P<0.05）；在第 4 周，血清 INS、
154　GC 含量及 INS/GC 显著低于正常饲喂期（P<0.05）。而血清 GH 和 IGF-Ⅰ含量的相关性分析
155　显示，在正常饲喂期为显著高度正相关关系（P<0.05），在饥饿期及恢复饲喂期第 1 周和第
156　2 周时无显著相关（P>0.05），在恢复饲喂期第 3 周呈现显著中度正相关关系（P<0.05），
157　在恢复饲喂期第 4 周表现为显著中度负相关关系（P<0.05）。

158　表 5　饥饿及恢复饲喂对牦牛血清激素含量的影响

159　Table 5　Effects of starvation and refeeding on serum hormone contents of yaks

项目 Items	正常饲喂期 NP	饥饿期 SP	恢复饲喂期第 1 周 The 1st week of RFP	恢复饲喂期第 2 周 The 2th week of RFP	恢复饲喂期第 3 周 The 3th week of RFP	恢复饲喂期第 4 周 The 4th week of RFP
胰岛素 INS/(nIU/mL)	747.84±27.57[b]	690.82±44.15[c]	755.74±62.24[b]	808.04±60.47[a]	711.29±29.22[bc]	682.15±49.98[c]
胰高血糖素 GC/(pg/mL)	638.82±34.07[a]	623.95±60.43[ab]	603.93±39.56[ab]	629.93±40.2[a]	613.64±44.49[ab]	572.89±26.62[b]
胰岛素/胰高血糖素 INS/GC/%	5.36±0.44[a]	4.72±0.47[b]	5.33±0.58[a]	4.85±0.33[ab]	5.00±0.31[ab]	4.68±0.34[b]

生长激素 GH/(ng/mL)	38.16±2.09[ab]	34.22±3.47[c]	40.43±3.5[ab]	38.7±2.97[ab]	37.69±2.77[b]	41.05±2.26[a]
IGF-Ⅰ /(ng/mL)	43.29±1.56[b]	38.36±3.52[c]	48.61±4.79[a]	47.34±3.87[a]	47.52±3.55[a]	44.93±3.43[ab]

160 表 6　血清 GH 和 IGF-Ⅰ含量的相关性变化

161 Table 6　Changes of correlation between serum GH and IGF-Ⅰ content

项目 Items	正常饲喂期 NP	饥饿期 SP	恢复饲喂期第 1 周 The 1st week of RFP	恢复饲喂期第 2 周 The 2th week of RFP	恢复饲喂期第 3 周 The 3th week of RFP	恢复饲喂期第 4 周 The 4th week of RFP
皮尔森指数 Pearson index （***r***）	0.963 7	0.138 1	0.013 2	-0.149 5	0.623 4	-0.583 5
P 值 *P*-value	0.002 0	0.519 8	0.951 1	0.642 8	0.030 0	0.046 4

162 　　r>0 表示两变量正相关，r<0 表示两变量负相关。当∣r∣≥0.8 时，认为两变量高度相

163 关，0.5≤∣r∣<0.8 时,认为两变量中度相关，当 0.3≤∣r∣<0.5 时，认为两变量低相关，当

164 0≤∣r∣<0.3 时，说明相关程度弱，基本上不相关。P 值表示两变量关系显著性，P<0.05

165 表明两变量显著相关，P>0.05 则表明两变量相关关系不显著。

166 　　r>0 means positive correlation between two variables, and r<0 means negative correlation

167 between two variables. When ∣r∣≥0.8, it is considered that the two variables are highly

168 correlated, 0.5≤∣r∣<0.8, the two variables are moderately correlated, 0.3≤∣r∣<0.5, the two

169 variables are low correlated. P-value indicates the significance of relationship between the two

170 variables, P<0.05 means a significant correlation and P>0.05 indicates no significant correlation.

171 3　讨　论

172 3.1　饥饿及恢复饲喂对牦牛生长性能的影响

173 　　在描述营养吸收后的动物无法摄取食物时，最常用的 2 个术语是饥饿和绝食[18]。饥饿

174 主要是由于食物获取改变（如由食物资源充足变为资源匮乏）而造成的生理反应，而绝食则

175 是由于内在机制调节下的生理反应，经常发生在动物躲避追捕、调节体温、脱毛及繁殖相关

176 （如寻求配偶和领地防卫）的条件下[3]。饥饿研究中主要考虑 2 个因素，即饥饿时间和饥饿

chinaXiv:201812.00681v1

177 强度[19]。由于饥饿相关的研究尚未有一个统一的标准，考虑到牦牛冷季生长中饥饿时间和饥
178 饿强度难以确定，在极端气候下甚至出现断水断料的情况，参考本课题组相关研究[11-12]后，
179 对牦牛进行为期 7 d 的断食处理。
180 体重下降是动物饥饿后最显著的改变，饥饿期间 OM 的损失不可避免，而体重损失主
181 要取决于动物的初始体重以及在饥饿期间各种能量资源的分配情况[20]。饥饿时动物体重减少
182 的程度和速度可以用于衡量动物对饥饿的适应能力[21]。Chwalibog 等[22]研究发现，猪在经过
183 4 d 低于维持饲粮水平 25%的限制饲喂后，其体重损失达到初始体重的 24%。Hiro-Omi 等[23]
184 发现鸡在经历 6 d 饥饿后，体重损失达到初始体重的 35%。Chaiyabutr 等[24]发现，山羊在经
185 过 2 d 饥饿后，其体重损失就达到初始体重的 16%。补偿生长是指动物在经历了一个限制饲
186 料摄入的阶段后，恢复饲喂后具有更快生长潜力的一种生理过程[25]。研究表明，肝脏和胃肠
187 道的大小改变与动物采食量的变化呈现等比例相关关系[26]。Ryan 等[9]研究发现，在经过营
188 养限制后，动物内脏器官变小并且生长减缓，而内脏器官重量的降低则促使机体降低维持能
189 量需要，恢复饲喂后，动物内脏器官并不会立即恢复。肝脏和胃肠道对机体能量利用效率有
190 着重要影响[27]。Connor 等[28]发现，在恢复饲喂期间，饥饿后的肉牛 ADG 显著高于对照组肉
191 牛，并且其细胞代谢、氧化磷酸化及三羧酸循环相关基因表达量显著升高。研究表明，恢复
192 饲喂阶段，动物体重增长最快的是补偿生长的前期阶段[25,29]。在本次试验中，牦牛在经历 7
193 d 的绝食饥饿代谢后，体重损失为 10.06%。与其他饥饿研究相比，牦牛饥饿强度和持续时间
194 更高，但是体重损失更低，这说明牦牛对饥饿环境有较好的适应能力。恢复饲喂期前 2 周，
195 ADG 显著高于正常饲喂期，表现出明显的补偿生长现象。恢复饲喂期前 3 周 DMI、F/G 显
196 著低于正常饲喂期，这可能是因为内脏器官变小，较小的肝脏和胃肠道使得机体能量利用效
197 率升高，从而降低 F/G。而到了恢复饲喂期第 4 周，ADG、DMI 及 F/G 与正常饲喂期无显
198 著差异，说明补偿生长主要在恢复饲喂期前 3 周。

199 3.2 饥饿后恢复饲喂对牦牛营养物质表观消化率的影响

chinaXiv:201812.00681v1

200 Jones 等[30]发现，在进行营养限制后恢复饲喂，小鼠机体蛋白质合成和分解加快。
201 Turgeon 等[31]研究报道，羔羊在经过饥饿后恢复饲喂，出现了补偿生长现象，且在恢复饲喂
202 早期阶段有较高的蛋白质沉积率。Lippens 等[32]也发现，在经过营养限制后，恢复饲喂可以
203 加快动物蛋白质周转，提高蛋白质利用效率。Heitz 等[33]认为 Ca 消化率降低与 P 消化率的
204 升高将会促使机体酸化作用加强，从而减少机体脂肪含量，加快蛋白质合成。Mehrez 等[34]
205 研究发现，NDF 表观消化率降低与动物瘤胃内纤维降解菌和原虫数量的减少有关。Mahmoud
206 等[35]也在小羊中的研究中得出相似结果。报道指出，NDF 可以促进反刍动物咀嚼、唾液分
207 泌以及瘤胃活动，确保瘤胃环境稳定以供瘤胃微生物的生长[36]。本研究中，整个恢复饲喂期
208 DM 和 OM 表观消化率与正常饲喂期差异不显著，与 Ma 等[37]研究结果相似。恢复饲喂期第
209 1 周，牦牛对饲粮中 CP 及 EE 的表观消化率升高，同时 Ca 和 P 表观消化率在第 1 周和第 2
210 周时也发生了变化，有利于脂肪分解和蛋白质合成，从而促进补偿生长的发生。恢复饲喂期
211 第 4 周，除 ADF 和 NDF 表观消化率外，其他营养物质表观消化率与正常饲喂期差异不显著。
212 NDF 的表观消化率在恢复饲喂期第 2 周、第 3 周和第 4 周显著降低，这种变化可能与瘤胃
213 环境及瘤胃微生物改变有关。
214 3.3 饥饿及恢复饲喂对牦牛血清代谢物含量的影响
215 动物机体所有组织都利用 GLU，GLU 是中枢神经系统、肾髓质以及成熟红细胞首选
216 的能量物质，必须保证其持续供应，饥饿条件下，外源能量不足，导致机体不断消耗自身的
217 GLU，最终使得血糖水平降低[38]。动物在饥饿状态下主要通过分解肝糖原来生成 GLU 供能，
218 同时，利用糖异生作用维持血糖水平稳衡[5]。在肝脏和肾脏中，GLU 可以由氨基酸（主要是
219 丙氨酸）、甘油（主要来源于 TG 的水解）、酮体以及循环的乳酸和丙酮酸进行从头合成[39]。
220 而到了恢复饲喂阶段，随着食物的摄入，血清中 GLU 含量升高，INS 分泌量升高，而 INS
221 又促进动物吸收 GLU 并转运到特定的细胞中利用，最终导致血糖水平降低[40]。本研究中，
222 饥饿期血清 GLU 含量较正常饲喂期显著降低，这可能是机体为了适应饥饿而降低糖代谢水

chinaXiv:201812.00681v1

223 平[12]。恢复饲喂期，血清 GLU 含量在第 1 周和第 3 周显著降低，这可能是因为动物在补偿
224 生长阶段各细胞组织对能量的需求较高，促使机体对糖的利用较高。
225 在低血糖的条件下，脂肪酸是机体能量需求的一种可行性来源[41]。Blum 等[41]发现，
226 在营养限制时期，受到限制的牛血清中非酯化脂肪酸的含量显著高于非限制的牛只组，这体
227 现出较强的脂肪动员。饥饿期间脂肪动员提高是为了确保机体重要蛋白质含量的同时为机体
228 提供足够的能量[7]。Dimarco 等[42]研究发现，在恢复饲喂阶段，受到饥饿限制的牛只，血清
229 NEFA 含量在前 8 天的时间都保持较高的水平，说明在恢复饲喂开始时，动物的脂肪代谢并
230 没有恢复到正常饲喂期水平。本研究中，饥饿期血清 TG 和 NEFA 含量的变化体现了较强的
231 脂肪动员。在恢复饲喂期前 3 周，血清 NEFA 含量在前 2 周显著高于正常饲喂期，在第 3
232 周则显著低于正常饲喂期，而血清 TG 含量在第 2 周和第 3 周显著降低，说明在前 3 周牦牛
233 代谢状态还未恢复到正常时期水平，还保持着较高的脂肪分解水平。
234 血清 UN 含量是衡量蛋白质周转代谢的重要指标，UN 含量升高说明蛋白质周转代谢
235 加快[29]。CRE 是磷酸肌酸的分解产物以及肌肉组织肌酸代谢的终产物，血清 CRE 含量的降
236 低说明肌肉蛋白质分解代谢减慢[43]。本研究中，血清 UN 含量在饥饿期显著降低，这与 Harlow
237 等[44]在草原土拨鼠上的研究结果以及 Costa 等[45]在象海豹上的研究结果相似，说明在饥饿期
238 间蛋白质周转降低，而血清 CRE 含量降低说明饥饿期间肌肉组织蛋白质分解减慢。由此可
239 知，机体在饥饿期间通过降低蛋白质的代谢水平来减少蛋白质消耗。恢复饲喂期间，前 2
240 周血清 TP 含量显著升高，这表明在恢复饲喂期前 2 周蛋白质沉积增加，这有利于牦牛在恢
241 复饲喂后出现补偿生长现象。
242 3.4 饥饿及恢复饲喂对牦牛血清激素含量的影响
243 INS 促进靶细胞对血液中 GLU 的摄取和转运，从而降低血糖水平[40]。而 GC 则促进脂
244 肪组织的分解，提高血糖水平，对 INS 有拮抗作用，血糖水平的升高会使得 INS/GC 降低，
245 进而提高血糖水平[46]。在许多饥饿代谢的研究中都观测到动物血液中 INS 含量显著下降的

chinaXiv:201812.00681v1

246 现象，饥饿期间血液中 INS 含量的降低和 GC 含量的升高有利于机体利用脂肪，维持血糖水
247 平[47]。Ahmed 等[48]报道，受到营养限制的牛只在之后的恢复饲喂期间体内 INS 的含量快速
248 升高，这种变化与氨基酸转运加快、氧化减慢以及蛋白质降解减慢有关。Blum 等[41]也发现
249 了相同的变化趋势，在恢复饲喂期间，胰岛素分泌量的增加启动了体内合成过程的信号，动
250 物合成代谢增强。Shaw 等[49]报道，INS 是促进机体肌内脂肪合成最重要的激素。本研究中，
251 饥饿期间，牦牛血清 INS 含量和 INS/GC 显著降低，这有利于机体利用脂肪分解提供能量。
252 恢复饲喂后，牦牛血清 INS 含量在第 2 周显著升高，这有利于促进机体的合成代谢，从而
253 促使牦牛出现补偿生长现象。

254 动物在进食后，GH 的分泌会促使肝脏合成 IGF-Ⅰ，而 IGF-Ⅰ通过分配各种营养成分
255 来促进组织及机体生长[50]。研究发现，动物在受到食物限制后，GH 和 IGF-Ⅰ含量的相关关
256 系变得复杂[51]。Keogh 等[52]认为，GH 和 IGF-Ⅰ含量相关性改变可能是由于营养限制使得肝
257 脏变小的原因。Li 等[53]报道，在能量限制期间，动物机体内 GH 及其高亲和力的受体含量
258 会显著降低，同时两者在肝脏内的特异性结合能力也会下降，而 IGF-Ⅰ含量的降低慢于生
259 长激素受体含量的降低。有研究发现，受到营养限制的试验动物机体 IGF-Ⅰ含量显著降低，
260 但是 GH 含量的变化却不显著[54]。IGF-Ⅰ含量的降低可能是由于机体对营养限制的一种适应
261 手段，将细胞的生长调节到最慢，从而将有限的能量运用到重要的细胞功能上面，比如组织
262 的维持以及修复[53]。Bell 等[55]推测，这种代谢的改变可能是为了保证动物在营养限制期间体
263 内代谢的稳态。本研究中，饥饿期间，血清 GH 和 IGF-Ⅰ含量显著降低以及两者相关关系
264 的变化，有利于减缓细胞生长，节约能量，保持代谢稳定，从而适应饥饿环境。恢复饲喂后，
265 血清 GH 含量恢复正常饲喂期水平，血清 IGF-Ⅰ含量在前 3 周显著升高，两者相关性在恢
266 复饲喂期发生变化，可能是因为肝脏尚未恢复导致两者之间代谢关系维持在饥饿期的原因，
267 而这种代谢状态的维持则有利于补偿生长的产生。

268 4 结 论

chinaXiv:201812.00681v1

269 ① 牦牛在经历 7 d 的饥饿后，表现出对营养限制较好的适应现象。牦牛在饥饿期间通

270 过降低糖代谢和蛋白质周转水平以及提高脂肪分解代谢来适应饥饿。

271 ② 从牦牛 ADG、F/G 及血清生化指标进行评价，可以得出，牦牛在饥饿后恢复饲喂，

272 补偿生长主要在前 3 周，到了第 4 周即与正常饲喂期无显著差异。

273 参考文献：

274 [1] LONG R J,DING L M,SHANG Z H,et al.The yak grazing system on the *Qinghai*-Tibetan

275 plateau and its status[J].Rangeland Journal,2008,30(2):241–246.

276 [2] 王威,张建勋,康坤,等.冷季补饲精料对牦牛繁殖性能和生长性能的影响[J].中国畜牧杂

277 志,2013,49(7):78–80.

278 [3] MCCUE M D.Starvation physiology:reviewing the different strategies animals use to survive

279 a common challenge[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular &

280 Integrative Physiology,2010,156(1):1–18.

281 [4] RUSSELL R W,GAHR S A.Glucose availability and associated metabolism[M]//D'MELLO

282 J P F.Farm animal metabolism and nutrition.Edinburgh:The Scottish Agricultural

283 College,2000:121–147.

284 [5] STAEHR P,HOTHER-NIELSEN O,BECK-NIELSEN H.The role of the liver in type 2

285 diabetes[J].Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders,2004,5(2):105–110.

286 [6] FRICK N T,BYSTRIANSKY J S,IP Y K,et al.Carbohydrate and amino acid metabolism in

287 fasting and aestivating African lungfish (*Protopterus dolloi*)[J].Comparative Biochemistry

288 and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2008,151(1):85–92.

289 [7] CAHILL G F JR.Starvation in man[J].The New England Journal of

290 Medicine,1970,282(12):668–675.

291 [8] MORAES G,ALTRAN A E,AVILEZ I M,et al.Metabolic adjustments during

chinaXiv:201812.00681v1

292 semi-aestivation of the marble swamp eel (*Synbranchus marmoratus*,Bloch 1795)-a
293 facultative air breathing fish[J].Brazilian Journal of Biology,2005,65(2):305–312.
294 [9] RYAN W J,WILLIAMS I H,MOIR R J.Compensatory growth in sheep and cattle.II:changes
295 in body composition and tissue weights[J].Australian Journal of Agricultural
296 Research,1993,44(7):1623–1633.
297 [10] ASHFIELD A,WALLACE M,MCGEE M,et al.Bioeconomic modelling of compensatory
298 growth for grass-based dairy calf-to-beef production systems[J].Journal of Agricultural
299 Science,2014,152(5):805–816.
300 [11] YU X Q,PENG Q H,LUO X L,et al.Effects of starvation on lipid metabolism and
301 gluconeogenesis in yak[J].Asian-Australasian Journal of Animal
302 Sciences,2016,29(11):1593–1600.
303 [12] 任建林,王之盛,彭全辉,等.绝食对九龙牦牛体重、血清激素和生化指标的影响[J].动物营
304 养学报,2017,29(6):2162–2169.
305 [13] BELANCHE A,DE LA FUENTE G,NEWBOLD C J.Effect of progressive inoculation of
306 fauna-free sheep with holotrich protozoa and total-fauna on rumen fermentation,microbial
307 diversity and methane emissions[J].FEMS Microbiology Ecology,2015,91(3):fiu026.
308 [14] DE SOUZA J,GARVER J L,PRESEAULT C L,et al.*Short communication*:effects of prill
309 size of a palmitic acid-enriched fat supplement on the yield of milk and milk
310 components,and nutrient digestibility of dairy cows[J].Journal of Dairy
311 Science,2017,100(1):379–384.
312 [15] DING L M,CHEN J Q,LONG R J,et al.Blood hormonal and metabolite levels in grazing
313 yak steers undergoing compensatory growth[J].Animal Feed Science and
314 Technology,2015,209:30–39.

chinaXiv:201812.00681v1

ChinaXiv合作期刊

315 [16] AOAC.Official methods of analysis[S].17th ed.Gaithersburg:Association of Official
316 Analytical Chemists,2002.
317 [17] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent
318 fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy
319 Science,1991,74(10):3583–3597.
320 [18] MCCUE M D.Western diamondback rattlesnakes demonstrate physiological and
321 biochemical strategies for tolerating prolonged starvation[J].Physiological and Biochemical
322 Zoology,2007,80(1):25–34.
323 [19] COLEMAN S W,EVANS B C.Effect of nutrition,age and size on compensatory growth in
324 two breeds of steers[J].Journal of Animal Science,1986,63(6):1968–1982.
325 [20] COMOGLIO L I,GAXIOLA G,ROQUE A,et al.The effect of starvation on
326 refeeding,digestive enzyme activity,oxygen consumption,and ammonia excretion in juvenile
327 white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J].Journal of Shellfish Research,2004,23(1):243–249.
328 [21] LAUDER G V,LEROI A M,ROSE M R.Adaptations and history[J].Trends in Ecology &
329 Evolution,1993,8(8):294–297.
330 [22] CHWALIBOG A,TAUSON A H,THORBEK G.Diurnal rhythm in heat production and
331 oxidation of carbohydrate and fat in pigs during feeding,starvation and re-feeding[J].Journal
332 of Animal Physiology and Animal Nutrition,2004,88(7/8):266–274.
333 [23] HIRO-OMI Y,HISAE M,MITSUHIRO F.Changes in body composition of germ-free and
334 conventional chickens during starvation[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part
335 A:Physiology,1992,103(3):565–568.
336 [24] CHAIYABUTR N,FAULKNER A,PEAKER M.Effects of starvation on the cardiovascular
337 system,water balance and milk secretion in lactating goats[J].Research in Veterinary

chinaXiv:201812.00681v1

338 Science,1980,28(3):291–295.

339 [25] HORNICK J L,VAN EENAEME C,GÉRARD O,et al.Mechanisms of reduced and
340 compensatory growth[J].Domestic Animal Endocrinology,2000,19(2):121–132.

341 [26] JOHNSON D E,JOHNSON K A,BALDWIN R L.Changes in liver and gastrointestinal tract
342 energy demands in response to physiological workload in ruminants[J].The Journal of
343 Nutrition,1990,120(6):649–655.

344 [27] ORTIGUES I,DOREAU M.Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in
345 intake:absorption of digestion end products,tissue mass,metabolic activity and implications
346 to whole animal energy metabolism[J].Annales de Zootechnie,1995,44(4):321–346.

347 [28] CONNOR E E,KAHL S,ELSASSER T H,et al.Enhanced mitochondrial complex gene
348 function and reduced liver size may mediate improved feed efficiency of beef cattle during
349 compensatory growth[J].Functional & Integrative Genomics,2010,10(1):39–51.

350 [29] HAYDEN J M,WILLIAMS J E,COLLIER R J.Plasma growth hormone,insulin-like growth
351 factor,insulin,and thyroid hormone association with body protein and fat accretion in steers
352 undergoing compensatory gain after dietary energy restriction[J].Journal of Animal
353 Science,1993,71(12):3327–3338.

354 [30] JONES S J,STARKEY D L,CALKINS C R,et al.Myofibrillar protein turnover in
355 feed-restricted and realimented beef cattle[J].Journal of Animal
356 Science,1990,68(9):2707–2715.

357 [31] TURGEON O A Jr,BRINK D R,BARTLE S J,et al.Effects of growth rate and compensatory
358 growth on body composition in lambs[J].Journal of Animal Science,1986,63(3):770–780.

359 [32] LIPPENS M,HUYGHEBAERT G,DE GROOTE G.The efficiency of nitrogen retention
360 during compensatory growth of food-restricted broilers[J].British Poultry

chinaXiv:201812.00681v1

ChinaXiv合作期刊

361 Science,2002,43(5):669–676.

362 [33] HEITZ U E,HORNE M M,SPAHN D L.Pocket guide to fluid,electrolyte,and acid-base
363 balance[M].5th ed.St.Louis,Mo:Elsevier Heath Sciences,2012.

364 [34] MEHREZ A Z,ABO-DONIA F M,MAKLAD E H,et al.Evaluation of sugar beet pulp
365 treated with *Trichoderma verdi* and *Saccharomyces cervicia*[J].Egyptian Journal of Sheep
366 and Goat Sciences,2008,3(1):33–50.

367 [35] MAHMOUD A E M,EL-BORDENY N E S.The nutritive value of sugar beet
368 pulp-substituted corn for barki lambs[J].Pakistan Journal of Zoology,2016,48(4):995–1002.

369 [36] YANG W Z,BEAUCHEMIN K A.Physically effective fiber:method of determination and
370 effects on chewing,ruminal acidosis,and digestion by dairy cows[J].Journal of Dairy
371 Science,2006,89(7):2618–2633.

372 [37] MA T,WANG B,ZHANG N,et al.Effect of protein restriction followed by realimentation on
373 growth,nutrient digestibility,ruminal parameters,and transporter gene expression in
374 lambs[J].Animal Feed Science and Technology,2017,231:19–28.

375 [38] CAHILL G F Jr.Fuel metabolism in starvation[J].Annual Review of
376 Nutrition,2006,26:1–22.

377 [39] CHAMPAGNE C D,HOUSER D S,CROCKER D E.Glucose metabolism during lactation
378 in a fasting animal,the northern elephant seal[J].American Journal of
379 Physiology,2006,291(4):R1129–R1137.

380 [40] HOCQUETTE J F,ABE H.Facilitative glucose transporters in livestock
381 species[J].Reproduction Nutrition Development,2000,40(6):517–533.

382 [41] BLUM J W,SCHNYDER W,KUNZ P L,et al.Reduced and compensatory growth:endocrine
383 and metabolic changes during food restriction and refeeding in steers[J].Journal of

chinaXiv:201812.00681v1

ChinaXiv合作期刊

384 Nutrition,1985,115(4):417–424.

385 [42] DIMARCO N M,BEITZ D C,WHITEHURST G B.Effect of fasting on free fatty
386 acid,glycerol and cholesterol concentrations in blood plasma and lipoprotein lipase activity
387 in adipose tissue of cattle[J].Journal of Animal Science,1981,52(1):75–82.

388 [43] SCHROEDER A L,BERGERN W G,MERKEL R A.Estimation of lean body mass,empty
389 body protein and skeletal muscle protein from urinary creatinine excretion in beef
390 steers[J].Journal of Animal Science,1990,68(Suppl.1):311.

391 [44] HARLOW H J,BUSKIRK S W.Comparative plasma and urine chemistry of fasting
392 white-tailed prairie dogs (*Cynomys leucurus*) and American martens (*Martes*
393 *americana*):representative fat- and lean-bodied animals[J].Physiological
394 Zoology,1991,64(5):1262–1278.

395 [45] COSTA D P,ORTIZ C L.Blood chemistry homeostasis during prolonged fasting in the
396 northern elephant seal[J].American Journal of Physiology,1982,242(5):R591–R595.

397 [46] TAYLOR S.Metabolic issues of clinical nutrition[J].Journal of Human Nutrition and
398 Dietetics,2005,18(2):141–142.

399 [47] ROUVINEN-WATT K,MUSTONEN A M,CONWAY R,et al.Rapid development of
400 fasting-induced hepatic lipidosis in the American mink (*Neovison vison*):effects of food
401 deprivation and re-alimentation on body fat depots,tissue fatty acid profiles,hematology and
402 endocrinology[J].Lipids,2010,45(2):111–128.

403 [48] AHMED B M,BERGEN W G,AMES N K.Effect of nutritional state and insulin on
404 hind-limb amino acid metabolism in steers[J].Journal of Nutrition,1983,113(8):1529–1543.

405 [49] SHAW C S,CLARK J,WAGENMAKERS A J M.The effect of exercise and nutrition on
406 intramuscular fat metabolism and insulin sensitivity[J].Annual Review of

chinaXiv:201812.00681v1

407 Nutrition,2010,30:13–34.

408 [50] ETHERTON T D,BAUMAN D E.Biology of somatotropin in growth and lactation of
409 domestic animals[J].Physiological Reviews,1998,78(3):745–761.

410 [51] AL-REGAIEY K A,MASTERNAK M M,BONKOWSKI M,et al.Long-lived growth
411 hormone receptor knockout mice:interaction of reduced insulin-like growth factor i/insulin
412 signaling and caloric restriction[J].Endocrinology,2005,146(2):851–860.

413 [52] KEOGH K,WATERS S M,KELLY A K,et al.Effect of feed restriction and subsequent
414 re-alimentation on hormones and genes of the somatotropic axis in cattle[J].Physiological
415 Genomics,2015,47(7):264–273.

416 [53] LI Z H,KANG S K,JIN Y C,et al.Responses to administration of growth hormone releasing
417 hormone and glucose in steers receiving stair-step and extended restriction on
418 feeding[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):229–235.

419 [54] LUCY M C.Mechanisms linking the somatotropic axis with insulin:lessons from the
420 postpartum dairy cow[C]//Proceedings of the New Zealand Society of Animal
421 Production.Hamilton:New Zealand Society of Animal Production,2004,64:24–29.

422 [55] BELL A W.Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy
423 to early lactation[J].Journal of Animal Science,1995,73(9):2804–2819.

424 Effects of Starvation and Refeeding on Growth Performance, Nutrient Apparent
425 Digestibility and Serum Indices of Yaks

426 ZENG Shaoyu[1] WANG Zhisheng[1*] PENG Quanhui[1] XUE Bai[1] WANG
427 Lizhi[1] ZOU Huawei[1] HU Rui[1] ZHU Yixiao[1] ZHOU Xinyu[1] LIU Jianzhong[2]
428 (1. *Key Laboratory of Bovine Low-Carbon Farming and Safe Production of Higher*

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wangzs67@163.com （责任编辑 菅景颖）

chinaXiv:201812.00681v1

ChinaXiv合作期刊

429 *Education in Sichuan Province*, *Animal Nutrition Institute*, *Sichuan Agricultural*

430 *University*, *Ya'an* 625014, *China*; 2. *Road Biological Environmental Technology* (*Gulin*)

431 *Co.*, *Ltd.*, *Luzhou* 646509, *China*)

432 Abstract: The present study was conducted to investigate the changes of growth,
433 digestibility and metabolism of yaks under normal feeding, starvation, and refeeding
434 conditions. Six healthy three-year-old yaks were selected as experimental animals of
435 which average body weight was （183.60±15.62） kg. The trial was divided into normal
436 feeding period (7 d), starvation period (7 d) and refeeding period (28 d). The results
437 showed as follows: 1) yaks lost about 10.06% of body weight after 7-day starvation. The
438 dry matter intake and feed/gain were significantly lower in the first three weeks of
439 refeeding period than normal feeding period (P<0.05). Compared with normal feeding
440 period, the average daily gain of yaks was significantly increased in the first two weeks of
441 refeeding period (P<0.05); the apparent digestibility of crude protein and ether extract
442 were significantly improved in the first week of refeeding period (P<0.05); no significant
443 differences were found in the feed/gain and apparent digestibility of ether extract in fourth
444 week of refeeding period (P>0.05). 2) Serum glucose, triglyceride, urea nitrogen and
445 creatinine contents were significantly decreased (P<0.05) and serum non-esterified fatty
446 acid content was significantly increased in starvation period compared with normal
447 feeding period (P<0.05). Compared with normal feeding period, serum glucose content
448 was significantly increased in the first and third weeks of refeeding period than normal
449 feeding period (P<0.05); serum non-esterified fatty acids and total protein contents was
450 significantly increased in the first and second weeks of refeeding period (P<0.05); serum
451 triglyceride content was significantly reduced in the second and third weeks of refeeding
452 period (P<0.05); the contents of metabolites in serum had no significant differences in the
453 fourth week of refeeding period (P>0.05). 3) The contents of insulin, growth hormone and
454 insulin-like growth factor Ⅰ were significantly reduced in starvation period contrast to
455 normal feeding period (P<0.05). In the second week of refeeding period, serum insulin
456 content was significantly increased (P<0.05) contrast to normal feeding period (P<0.05).
457 Serum insulin-like growth factor Ⅰ was significantly elevated in first three weeks of
458 refeeding period compared with normal feeding period (P<0.05). Serum growth hormone
459 and insulin like growth factor Ⅰ contents had no significant differences in the fourth
460 week of refeeding period compared with normal feeding period (P>0.05). It is concluded
461 that the yaks adapt to starvation by increasing the catabolism of lipid and decreasing the
462 metabolism of glucose and protein. The first three weeks of refeeding period are
463 important for compensatory growth of yaks.
464 Key words: yaks; starvation; refeeding; growth performance; nutrient apparent
465 digestibility; serum indices

466

chinaXiv:201812.00681v1